

Cómo citar este artículo / How to cite this article: Molina Hernández, F. J., Barciela González, V. y Martorell Briz, X. (2023). Metodología de detección con dron (RPAS) aplicada a la prospección de arte rupestre prehistórico. *Lucentum*, XLII, 33-50. <https://doi.org/10.14198/LVCENTVM.23467>

# Metodología de detección con dron (RPAS) aplicada a la prospección de arte rupestre prehistórico

## Drone (RPAS) detection methodology for prehistoric rock art surveying

Francisco Javier Molina Hernández, [jammonite@gmail.com](mailto:jammonite@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6435-3508>, Universidad de Alicante, España  
Virginia Barciela González, [virginia.barciela@ua.es](mailto:virginia.barciela@ua.es), <https://orcid.org/0000-0002-9623-8982>, Universidad de Alicante, España  
Ximo Martorell Briz, [ximo.martorell@ua.es](mailto:ximo.martorell@ua.es), <https://orcid.org/0000-0002-4766-3720>, Universidad de Alicante, España

Recepción: 07/09/2022

Aceptación: 06/02/2023

### Resumen

La prospección, detección y documentación de arte rupestre prehistórico en paredes, abrigos y cuevas poco profundas está, a menudo, condicionada por su accesibilidad. Las características geográficas del entorno y las transformaciones del paisaje a lo largo de milenios, tanto por causas naturales como antrópicas, son factores determinantes a tener en cuenta. El objetivo de este trabajo es contribuir a crear un marco metodológico que permita incorporar el uso de drones a la prospección arqueológica para la localización de yacimientos con arte rupestre situados en zonas de difícil acceso, partiendo de la experiencia desarrollada en el proyecto *Arte rupestre y paisajes culturales en la montaña de Alicante*. La observación de pinturas y grabados de forma segura sería, por tanto, la primera fase en los trabajos de prospección en estos entornos de geografía compleja, permitiendo la selección de aquellos abrigos con resultado positivo para su acceso mediante diferentes métodos tradicionales, con el objeto de realizar los pertinentes trabajos de verificación, documentación y estudio, previamente autorizados por la administración competente.

Esta metodología puede aplicarse no solo en la investigación de arte rupestre prehistórico, sino también en el contexto de los estudios de impacto patrimonial en relación con la conservación preventiva, teniendo en cuenta las diversas problemáticas que amenazan este patrimonio, tales como promociones urbanísticas, explotaciones de cantería o la práctica de actividades lúdicas y deportivas al aire libre. De igual modo, si bien este estudio se centra en las manifestaciones prehistóricas, podría ser empleado en la detección de enclaves sobre soportes similares de cualquier período histórico.

**Palabras clave.** Arte rupestre prehistórico; *Arte rupestre del arco mediterráneo de la península ibérica*; prospección arqueológica; detección con dron.

### Abstract

The survey, identification and documentation of prehistoric rock art in rocky walls, shelters and shallow caves are often conditioned by their accessibility. Both the geographical characteristics of the environment and the landscape modifications over the millennia are crucial factors to be considered. The aim of this work is to propose a methodological framework incorporating the use of drones for archaeological survey in order to discover sites located in areas that are hard to reach, based on the experience developed during the project 'Rock Art and Cultural Landscapes in the Mountains of Alicante'. The observation of paintings and engravings leads us to choose those shelters that can be accessed through traditional strategies, and undertake the tasks for verification, recording and analysis previously authorized by the administration in charge.

This methodology can be applied not only in prehistoric rock art research, but also in heritage studies related to preventive conservation, taking into account the different threats to this heritage, such as urban development, quarrying operations or outdoor recreational and sport activities. Although this proposal focuses on prehistoric representations, the study of similar archaeological sites from any historical period could be useful.

**Key words.** Prehistoric rock art; *Rock-Art of the Mediterranean basin on the Iberian Peninsula*; archaeological survey; drone detection.



## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto *Arte rupestre y paisajes culturales en la montaña de Alicante*<sup>1</sup> se desarrolla en un territorio que forma parte del denominado *Arte rupestre del arco mediterráneo de la península ibérica* (ARAMPI), declarado patrimonio mundial por la UNESCO en 1998, y cuyos enclaves tienen la máxima categoría de protección como Bienes de Interés Cultural (BIC) en la legislación estatal y autonómica relativa a bienes culturales (Fig. 1). Su objetivo principal es el análisis histórico de las comunidades agropecuarias asentadas en el ámbito meridional de las tierras valencianas, desde mediados del VI milenio hasta la primera mitad del III milenio cal BC, a partir del estudio de los cambios que se producen en sus prácticas simbólicas, en concreto en las manifestaciones de arte rupestre. Todo ello está en clara relación con una serie de evidencias arqueológicas vinculadas al poblamiento de estos grupos prehistóricos, pero también a otras prácticas socioeconómicas que permiten comprender y explicar las pautas de organización simbólica en su propio contexto cultural y su desarrollo a través del tiempo.

Las investigaciones recientes en el área litoral y prelitoral del norte de la provincia de Alicante permiten señalar a esta zona como uno de los principales focos de hábitat neolítico del Mediterráneo peninsular. Una afirmación que se sustenta en datos cronológicos, simbólicos, medioambientales y poblacionales –apoyados en la extensa bibliografía existente– y que, sin duda, concuerda con la gran riqueza paleoambiental del territorio (p. ej. García Atiénzar, 2009; 2011-2012; 2018; Juan-Cabanilles y García, 2013; Martí, 2008; 2012). En este contexto, son tres las manifestaciones artísticas que se investigan, los artes macroesquemático y esquemático, vinculados al inicio y desarrollo de la secuencia neolítica, alcanzando este último el Calcolítico (p. ej. Hernández *et al.*, 2013-2014; Hernández Pérez, 2016; Barciela *et al.*, 2019); y el arte levantino (p. ej. Hernández y Barciela, 2018), cuyo origen y evolución aún es fruto de un intenso debate científico, atribuyéndose su aparición a las últimas comunidades de cazadores-recolectores (p. ej. Ruiz *et al.*, 2022; Viñas *et al.*, 2016) o a los primeros grupos productores de alimentos (p. ej. García *et al.*, 2004; García, 2011; López-Montalvo, 2018; Martínez y Martorell, 2012; Villaverde *et al.*, 2012; 2016)<sup>2</sup>. Cabe señalar que la mayor parte de este tipo

de representaciones son pintadas y se ubican en farallones, abrigos y cuevas de escaso desarrollo abiertas en sistemas de origen kárstico, tales como barrancos, cañones o valles fluviales, por lo que el desarrollo de esta metodología se ha planificado para estos soportes en espacios abiertos, siendo aplicables a otros ámbitos de similares características y diferente génesis –origen tectónico o eólico–, no así en espacios subterráneos de largo recorrido.

A lo largo de las diferentes fases de este proyecto, así como de otros previos, se han desarrollado campañas de prospección con excelentes resultados (p. ej. Barciela y Molina, 2011; 2013; 2014; Barciela *et al.*, 2014). No obstante, estas se han llevado a cabo mayoritariamente siguiendo una metodología tradicional que incluye la visita a pie de los soportes, con el objetivo de evidenciar la presencia o ausencia de arte. En dicho proceso, son numerosas las zonas inaccesibles detectadas en las que, sin embargo, se abren abrigos y cuevas con excelentes condiciones para conservar manifestaciones artísticas, por lo que aún deben ser cuantiosos los sitios que quedan por descubrir y documentar. Gracias a estos estudios también se ha puesto de relevancia la presencia de arte no solo en abrigos que constituyen grandes hitos paisajísticos con buena accesibilidad, sino en paredes rocosas casi sin visera y, en ocasiones, en zonas con accesos muy complejos, probablemente desde la Prehistoria. Esto ha llevado a replantear la metodología de prospección, incluyendo no solo soportes que *a priori* no resultaban apropiados, sino también nuevos métodos para visualizar áreas inaccesibles, empleando para ello la detección con dron y tecnologías asociadas.

En el presente trabajo se ofrecen los primeros datos y valoraciones obtenidos tras un año de utilización del dron Mavic 2 Pro, equipado con cámara intercambiable de la versión Zoom y gafas de visión FPV (first person view). Asimismo, se abordan los aspectos metodológicos detallados mediante el ejemplo aplicado en el descubrimiento de dos nuevos abrigos localizados en el término municipal de Penàguila (l'Alcoià); en los conjuntos conocidos como Barranquet del Castellet o Barranc del Salt y el Port de Penàguila. Ambos son un buen ejemplo de áreas intensamente prospectadas y conocidas desde hace décadas donde, sin embargo, aún existen abrigos inaccesibles que no habían sido registrados de forma previa al desarrollo de este trabajo.

1. El proyecto *Arte rupestre y paisajes culturales en la montaña de Alicante* (GRE18-02), cuya investigadora principal es Virginia Barciela González, ha sido financiado por el Programa Propio para el fomento de la I+D+I del Vicerrectorado de Investigación y Transferencia de Conocimiento de la Universidad de Alicante (convocatoria de proyectos emergentes 2018).

2. Además de estos tres tipos de arte, en este territorio se constata una importante presencia de grabados y pinturas de diferentes

cronologías, desde el Paleolítico hasta épocas históricas. Este tipo de representaciones comparte, en ocasiones, soportes y técnicas con los denominados artes postpaleolíticos, por lo que la metodología de detección podría ser aplicable. Sin embargo, en otros casos, presentan problemáticas diferentes en cuanto a su ubicación y visualización, de manera que no se han considerado para este trabajo.

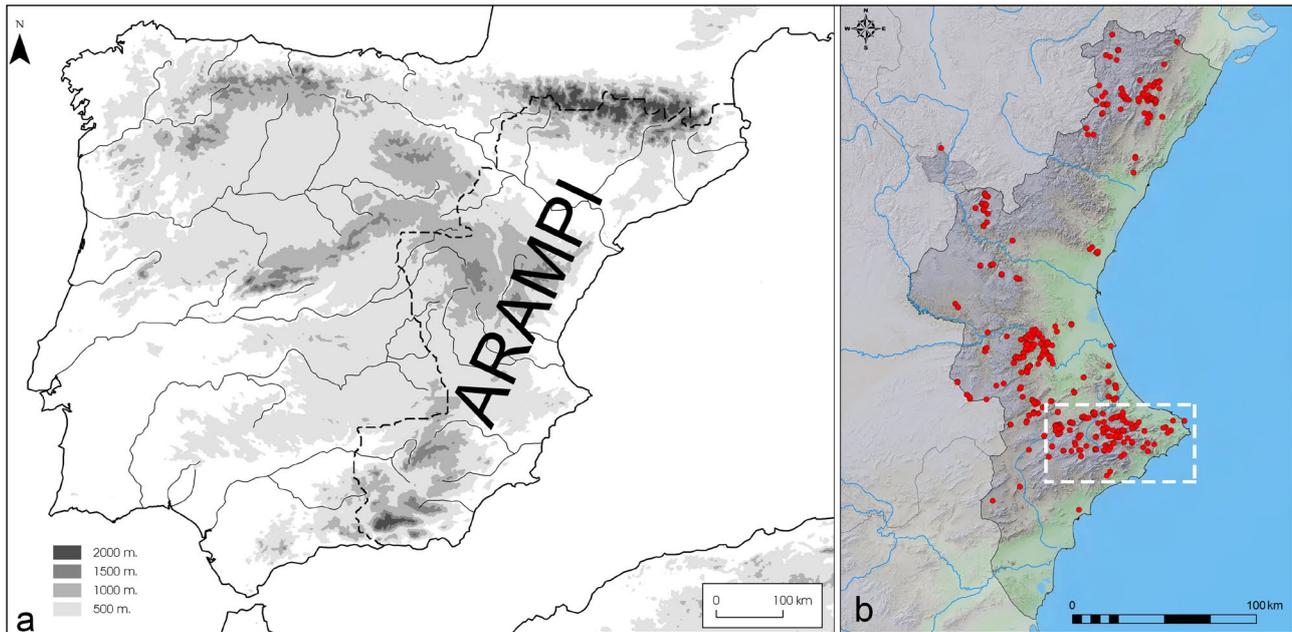


Figura 1: Mapa de la península ibérica con indicación de la zona de distribución del Arte rupestre del Arco Mediterráneo de la Península Ibérica (a). Mapa de distribución del ARP en la Comunitat Valenciana e indicación del área de estudio denominada Montaña de Alicante (b)

## 2. CONTEXTUALIZACIÓN. LOS CONJUNTOS RUPESTRES DE BARRANQUET DEL CASTELLET O BARRANC DEL SALT Y PORT DE PENÀGUILA (ALICANTE)

El municipio de Penàguila se sitúa en el norte de la provincia de Alicante, entre el cauce del río Frainós—tributario del río Seta o Penàguila— y las últimas elevaciones contiguas al límite occidental de la sierra de Aitana (1504 m s. n. m.). Se trata de una zona muy abrupta con numerosos barrancos entre los que destaca el Barranquet del Castellet, conocido también—especialmente en su cauce bajo— como Barranc del Salt. La cabecera se abre a unos 925 m s. n. m., a los pies de La Moleta, encontrándose su desembocadura a unos 680 m s. n. m., en el paraje de la Font Major. En este barranco se abren, en ambas márgenes, ocho abrigos con arte esquemático, seis de ellos documentados a finales de los años 80 del s. XX (Hernández *et al.*, 1988) y uno en las labores de actualización del inventario realizadas en 2009 (Hernández *et al.*, 2014). Desde el punto de vista geográfico, en esta zona también destaca el Port de Penàguila, puerto de montaña que ha constituido un paso tradicional para salvar la sierra de Aitana, alcanzando el puerto de Tudons y, desde allí, la costa, por el denominado Camí del Peix (Pérez, 2016). En las primeras elevaciones que flanquean este puerto se abren otros dos abrigos que reciben el nombre homónimo y que cuentan, en este caso, con manifestaciones de arte esquemático y arte levantino (Hernández *et al.*, 1988).

Como ya se ha señalado, ambas áreas fueron objeto, en 2009, de un proyecto de actualización del inventario en el que se registró un nuevo abrigo inédito y se observó la existencia de soportes, actualmente

inaccesibles, susceptibles de contener manifestaciones artísticas prehistóricas. Con el desarrollo del proyecto *Arte rupestre y paisajes culturales en la montaña de Alicante*, y dado lo abrupto de este territorio, se decidió incluir la zona en el plan piloto de prospección con dron, con el fin de desarrollar un programa metodológico en el caso de que los resultados fuesen positivos (Fig. 2). Los primeros vuelos permitieron documentar dos nuevos enclaves, uno en cada una de las zonas señaladas. Además, cabe significar que se trata de yacimientos de extraordinario valor científico, especialmente el situado en el Barranc del Castellet-Barranc del Salt, debido a que presenta manifestaciones levantinas y esquemáticas, con superposiciones que resultan muy interesantes desde el punto de vista cronoestratigráfico.



Figura 2: Vista aérea del relieve montañoso en el entorno de Penàguila, donde se puede observar el paisaje abrupto y accidentado con abrigos de difícil acceso y susceptibles de contener arte rupestre

### 3. EL EMPLEO DE DRONES EN EL ESTUDIO DEL ARTE RUPESTRE

Los sistemas aéreos no tripulados, conocidos como Unmanned Aerial Systems (UAV/UAS) engloban tanto a la aeronave como la estación en tierra y el enlace de comunicaciones a los sistemas que permiten la aeronavegabilidad segura y precisa a distancia. Dentro de estos sistemas se encuentran los drones, generalmente conocidos con el término Remotely Piloted Airborne Systems (RPAS).

Como es lógico, en los últimos años se han generalizado los modelos con mejores prestaciones, menores dimensiones y que pueden ser manejados con relativa facilidad<sup>3</sup>. Este hecho, unido a una reducción de los costes, ha llevado a que su aplicación en ámbitos como la Arqueología se haya extendido, especialmente en la realización de trabajos fotogramétricos y para la obtención de ortofotografías georreferenciadas (p. ej. Smith *et al.*, 2014; Barba *et al.*, 2019; Gasparini *et al.*, 2020; Orsini *et al.*, 2021; Fiz *et al.*, 2022). También es cada vez mayor su aplicación en trabajos de prospección arqueológica, combinando, en algunos casos, la fotografía aérea con otras tecnologías como las cámaras de alta resolución, LiDAR, cámaras multiespectrales o el radar (p. ej. Stek, 2016; Poirier *et al.*, 2017; Cowley *et al.*, 2018; Megarry *et al.*, 2018; Agudo *et al.*, 2018; Linck y Kaltak, 2019; Brenes-Zeledón, 2019; Adamopoulos y Rianudo, 2020; Ronchi *et al.*, 2020; Monterroso-Checa *et al.*, 2021).

En el ámbito del arte rupestre prehistórico (en adelante, ARP) los drones han sido empleados en trabajos de documentación, básicamente para la obtención de modelos tridimensionales y ortofotos de los paneles. En algunos casos, se han enfatizado los excelentes resultados frente a metodologías tradicionales de registro (p. ej. Farjas *et al.*, 2015; Pavelka *et al.*, 2018), mientras que en otros se muestran detallados flujos de trabajo en conjuntos con problemas de accesibilidad que no podrían haber sido detectados o documentados mediante otras técnicas (p. ej. Berquist *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019).

Sin embargo, hasta el momento no se han desarrollado trabajos que aborden de manera exhaustiva el empleo de esta tecnología como una herramienta más a la hora de planificar y ejecutar proyectos específicos de prospección de arte rupestre en entornos montañosos, aunque en recientes trabajos se ha planteado su empleo a nivel teórico (Jalandoni *et al.*, 2022: 20). Sin duda, las limitaciones que han existido a la hora de transportar los drones y aproximarlos a las paredes rocosas sin poner en riesgo a los aparatos ha sido un factor condicionante. En la actualidad, el desarrollo de

modelos cada vez más portátiles junto al avance de sus tecnologías y prestaciones, permiten realizar de forma más segura los vuelos, y con ello la toma de fotografías y datos a distancias lo suficientemente cortas para poder identificar los motivos rupestres.

La Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español (LPHE) y la Ley 4/1998, de 11 de junio, de la Generalitat, del Patrimonio Cultural Valenciano (LPCV), no contemplan específicamente el uso de drones en las tareas generales de prospección arqueológica ni en las específicas de arte rupestre. No obstante, según el art. 59.a de la LPCV, se consideran prospecciones arqueológicas «las exploraciones superficiales, subterráneas o subacuáticas, sin remoción del terreno, dirigidas al descubrimiento, estudio e investigación de toda clase de restos históricos, así como de los elementos geológicos con ellos relacionados. Se incluyen también aquellas técnicas de observación y reconocimiento del subsuelo mediante la aplicación de instrumentos geofísicos, electromagnéticos y otros diseñados al efecto», y, por tanto, estas actuaciones están sujetas a la preceptiva autorización por parte de la Conselleria competente en materia de Cultura (art. 60 LPCV).

### 4. EQUIPO Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

#### 4.1. EL EQUIPO

Una de las principales tecnologías que incorporan los drones de media y alta gama son los llamados sistemas avanzados de asistencia al piloto, conocidos como Advanced Pilot Assistance System (APAS), que ofrecen mayor seguridad y control del dron. Algunos de ellos son la georreferenciación mediante GPS, la incorporación de cámara de vídeo y foto –cada vez de mayores prestaciones–, las llamadas baterías inteligentes, que vigilan su duración y estado, y los sensores de control omnidireccional de tipo ultrasónico, barométrico, infrarrojo o de visión monocular, que permiten cubrir todas las direcciones.

La transmisión de vídeo o fotografía en directo se realiza mediante ondas de radio, una tecnología conocida como vista en primera persona o First Person View (FPV). El dron tiene un transmisor inalámbrico multi-banda incorporado junto con una antena. Dependiendo del dron y del equipo, el receptor de las señales de imagen que capta la cámara puede ser la propia unidad de control remoto (el mando), un monitor, una tablet o un móvil. Asimismo, pueden utilizarse gafas con pantallas que permiten ver en alta resolución la señal de vídeo y las fotos, así como el control de los parámetros de la cámara.

En el proyecto se ha empleado un cuadricóptero DJI Mavic 2 Pro-Zoom, un dron plegable que incorpora tecnología de última generación, tal como la detección de obstáculos omnidireccional. Este sistema anticolidión es operativo al 100% en determinados

3. Los requisitos y titulaciones para operar con drones están regulados por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (Aena): <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/tienes-un-uas-dron>

modos de vuelo (Active Track y modo trípode, por ejemplo), siendo capaz de detenerse automáticamente ante obstáculos, así como calcular trayectorias y cambios de rumbo para evitarlos. La detección de obstáculos omnidireccional tiene sus limitaciones, ya que no cubre toda la circunferencia alrededor del dron, ni detecta los objetos por debajo de determinado grosor, como, por ejemplo, cables o ramas finas, por lo que hay que mantener siempre la seguridad y el control visual<sup>4</sup>.

El dron empleado está equipado con una cámara Hasselblad L1D-20c con tecnología HNCS (Hasselblad Natural Colour Solution). El sensor es un CMOS de 1 pulgada (25,4 mm), con una apertura de 28 mm, de buen rendimiento en condiciones de escasa iluminación y resolución máxima de 20 megapíxeles (5472 x 3648 píxeles en formato JPG y DNG). Incorpora el modo de grabación Dlog-M de 10 bits, un perfil de color plano que facilita la edición y tratamiento posterior de la imagen de vídeo. De forma complementaria, se cuenta con una cámara Mavic 2 en su versión Zoom, que es fácilmente intercambiable con la anteriormente descrita. Se trata de una cámara que graba en 4K y tiene sensor CMOS de 1/2.3 pulgadas y 12 megapíxeles, cuya principal ventaja con respecto a la Hasselblad es que incorpora un zoom óptico de 2 aumentos, el cual puede ser muy práctico cuando hay que mantener cierta distancia en abrigos con obstáculos como, por ejemplo, la vegetación. De este modo, según las características del abrigo a inspeccionar, se ha optado bien por montar la Hasselblad o la Zoom.

En definitiva, los sensores de estas cámaras que permiten trabajar con escasa luminosidad, la elevada gama de colores que captan y la resolución, así como el escaso peso y dimensiones del dron –apenas 900 gr, pudiendo ser fácilmente transportable en una mochila–, fueron tenidos en cuenta en la elección del modelo frente a drones comerciales que presentan mayores prestaciones en otros campos, como la gama Phantom o la marca Autel, o aquellos que resultan demasiado pesados –caso de la gama Inspire– para transportar en un medio montañoso donde, en ocasiones, no existen sendas ni zonas apropiadas para operar con seguridad.

Para poder realizar la aproximación a los abrigos con la mayor seguridad posible se ha utilizado el mando Smart Controller, que permite un uso a pleno día con sol, y unas Gafas FPV DJI Racing Edition. Mediante estas se obtiene una visión de gran detalle, lo que facilita las maniobras en entornos complejos, tales como barrancos, cortados o entre la vegetación. Las propias

gafas permiten visualizar los parámetros de vuelo y de telemetría, así como controlar los valores de la cámara con la opción de dirigir el estabilizador a partir de los movimientos de cabeza, facilitando la aproximación y la toma de imágenes<sup>5</sup>.

#### 4.2. LA PLANIFICACIÓN DE LA PROSPECCIÓN CON DRON

Los trabajos de prospección con dron requieren una documentación previa para caracterizar las condiciones geográficas del área a prospectar. Así, se complementa el reconocimiento visual directo junto al análisis de mapas topográficos, fotografía aérea o imágenes LiDAR, lo que permite determinar la existencia de cortados inaccesibles o de muy difícil acceso susceptibles de contener cavidades o paredes con arte rupestre y que, por tanto, justifican su empleo. De igual modo, la observación directa de la zona a prospectar, no solo ayuda a valorar con mayor detalle las características geográficas y su potencialidad arqueológica, sino también la existencia de posibles obstáculos o problemas en el desarrollo de los trabajos, como la presencia de vegetación, líneas eléctricas, zonas habitadas, carreteras, señal GPS débil, la existencia de interferencias o cualquier otro elemento que pudiera condicionar el vuelo. Este primer análisis del terreno sirve también para determinar la zona que ofrezca mejores condiciones para realizar la aproximación. En este proceso es imperativo realizar la pertinente comprobación de la base de datos del gestor de navegación, ENAIRE en el caso de España, donde se puede consultar de forma actualizada la existencia de restricciones o prohibiciones<sup>6</sup>.

La fase de trabajos previos finaliza con varios vuelos de reconocimiento con el objetivo de realizar grabaciones y fotografías panorámicas. Estas imágenes son visualizadas a fin de observar detalles que, en los trabajos de campo, podrían haber pasado desapercibidos o, sencillamente, no ser observables desde tierra. Los datos obtenidos en los vuelos en relación a la presencia de abrigos y su georreferenciación deben ser proyectados en un mapa, por lo que es necesario volcar el track de vuelo en un SIG. Una vez situados los soportes rocosos susceptibles de análisis, se seleccionan aquellos inaccesibles o peligrosos para planificar su inspección mediante dron, como fase previa que justifique o descarte el acceso directo utilizando técnicas de escalada.

4. Los parámetros de detección de obstáculos, así como otras características importantes del equipo pueden consultarse en [https://www.dji.com/es/mavic-2?site=brandsite&from=landing\\_page](https://www.dji.com/es/mavic-2?site=brandsite&from=landing_page)

5. Ver parámetros en <https://www.dji.com/es/dji-goggles-re>

6. Esta consulta permite una primera planificación de los vuelos, sabiendo ya de antemano las posibles zonas CTR, prohibidas o restringidas (cría de aves, áreas habitadas, instalaciones militares, entre otras), para las cuales es necesario contar con un permiso específico.

### 4.3. EL VUELO, LA APROXIMACIÓN Y EL ESTACIONAMIENTO

En los vuelos, el piloto debe guardar cierta distancia con la ladera donde se ubique la cavidad o la pared a inspeccionar. Esta puede interferir en la transmisión, al no existir un ángulo adecuado entre el emisor y el receptor. Los mejores resultados suelen obtenerse en zonas en las que se puede observar bien el abrigo y el entorno inmediato, procurando mantener un ángulo entre  $25^\circ$  y  $75^\circ$  para facilitar la recepción y transmisión, siendo secundaria la cuestión de la proximidad siempre que exista contacto visual (Fig. 3: a). En definitiva, en este primer paso se debe tener en cuenta especialmente la observación de toda la trayectoria de vuelo y la inexistencia de obstáculos que impidan la correcta transmisión de la señal entre el mando y el dron.

Las condiciones ambientales más apropiadas son la ausencia de viento, siendo especialmente peligroso el viento racheado<sup>7</sup>, y un horario en el que el soporte rocoso no reciba luz directa del sol o quede demasiado oscuro. En caso de exceso de luz, pueden emplearse filtros que ayuden a obtener mejores resultados.

El despegue y aterrizaje deben realizarse, siempre que sea posible, en una zona con condiciones adecuadas, es decir, en un espacio abierto, llano y sin vegetación. No obstante, debido a que los enclaves suelen localizarse en zonas muy abruptas, esta operación puede resultar la más compleja. En este caso, la última opción a valorar es el despegue y aterrizaje desde la mano, maniobras que solo deberán realizar pilotos experimentados con las debidas precauciones. Se trata de operaciones delicadas y que entrañan riesgos, recomendándose que el despegue se realice a favor del viento y el aterrizaje desconectando el sistema anti-colisión para que los sensores permitan la aproximación sin realizar movimientos incontrolados.

La aproximación final al abrigo o pared es otra de las maniobras que entraña cierta peligrosidad y, en todo caso, debe comprobarse antes del vuelo que el sistema de detección de obstáculos esté activado y funcionando correctamente<sup>8</sup>. Se ejecutará preferiblemente con inclinación del cardan o estabilizador de la cámara a  $0^\circ$ , de forma que la visión frontal obtenida es la real del dron respecto a los obstáculos. Cuando el dron esté aproximadamente a una distancia de unos 10 metros de la cavidad es recomendable pasar a vuelo en modo

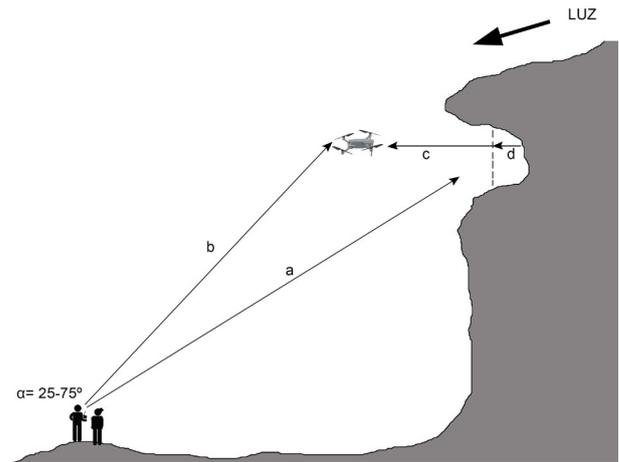


Figura 3: Parámetros ideales de aproximación a un abrigo para inspección de los lienzos: a.- Observación directa de la cavidad y ángulo entre  $25^\circ$ - $75^\circ$ , modo D-log, jpeg+raw; b.- Colocación en el tercio superior, cardan a  $0^\circ$ ; c.- Modo trípode a 10 m de distancia, sensores omnidireccionales conectados; d.- Distancia mínima de seguridad = 2,5 m

trípode (Fig. 3: b), ya que de esta forma se activan los 6 sensores de proximidad, ofreciendo el mayor campo de cobertura de los sensores (Fig. 3: c). No obstante, como ya se ha referido, debido a la existencia de zonas muertas u obstáculos que los sensores no pueden detectar, la aproximación deberá realizarse con todas las precauciones posibles y dejando un margen de seguridad mínimo de 2,5 m (Fig. 3: d).

Otro riesgo que hay que tener en cuenta es la vegetación. Para evitar que las hélices puedan chocar con ramas que hayan pasado desapercibidas a los sensores se recomienda instalar un protector de hélices, así como realizar la inspección mediante la cámara Zoom. La mejor opción, y la que ofrece mayores garantías, es que el piloto o ayudante cuenten con un aparato de visión de suficiente calidad que permita observar detalles, siendo lo más apropiado el empleo de unas gafas FPV. El uso de las gafas requiere, en todo caso, la presencia de un piloto y un asistente. El primero maneja el dron con el mando y el segundo utiliza las gafas centrándose esencialmente en el visionado del lienzo del abrigo. Ambos tienen la opción de cambiar los parámetros de la cámara y de tomar fotos, aunque resulta importante que exista una coordinación entre estos para realizar la operación de forma rápida y segura. No obstante, el piloto también puede utilizar las gafas y el mando del dron de forma individual con las debidas precauciones, mientras el asistente vigila, en este caso, el entorno para detectar cualquier anomalía o peligro.

Las maniobras de aproximación del dron deben ejecutarse mediante paradas o estacionamientos sucesivos. El primer estacionamiento del dron (Fig. 4: a; e0) se realiza a la altura de la mitad superior de la cavidad, tomando la visera como referencia y buscando la zona más amplia de la boca y con menores obstáculos. Este primer estacionamiento debe hacerse entre los 8 a 5 m,

7. La estabilización del dron en condiciones adversas de viento depende de la resistencia de cada modelo. En el caso del modelo Mavic 2 las especificaciones técnicas lo establecen en un máximo de 3 m/s.

8. Es imprescindible un correcto mantenimiento de los sensores mediante su calibración mensual o siempre que el dron haya tenido algún incidente. El correcto funcionamiento de estos, así como la adecuada aplicación de la metodología descrita, impedirá que el dron pueda chocar contra la pared del abrigo.

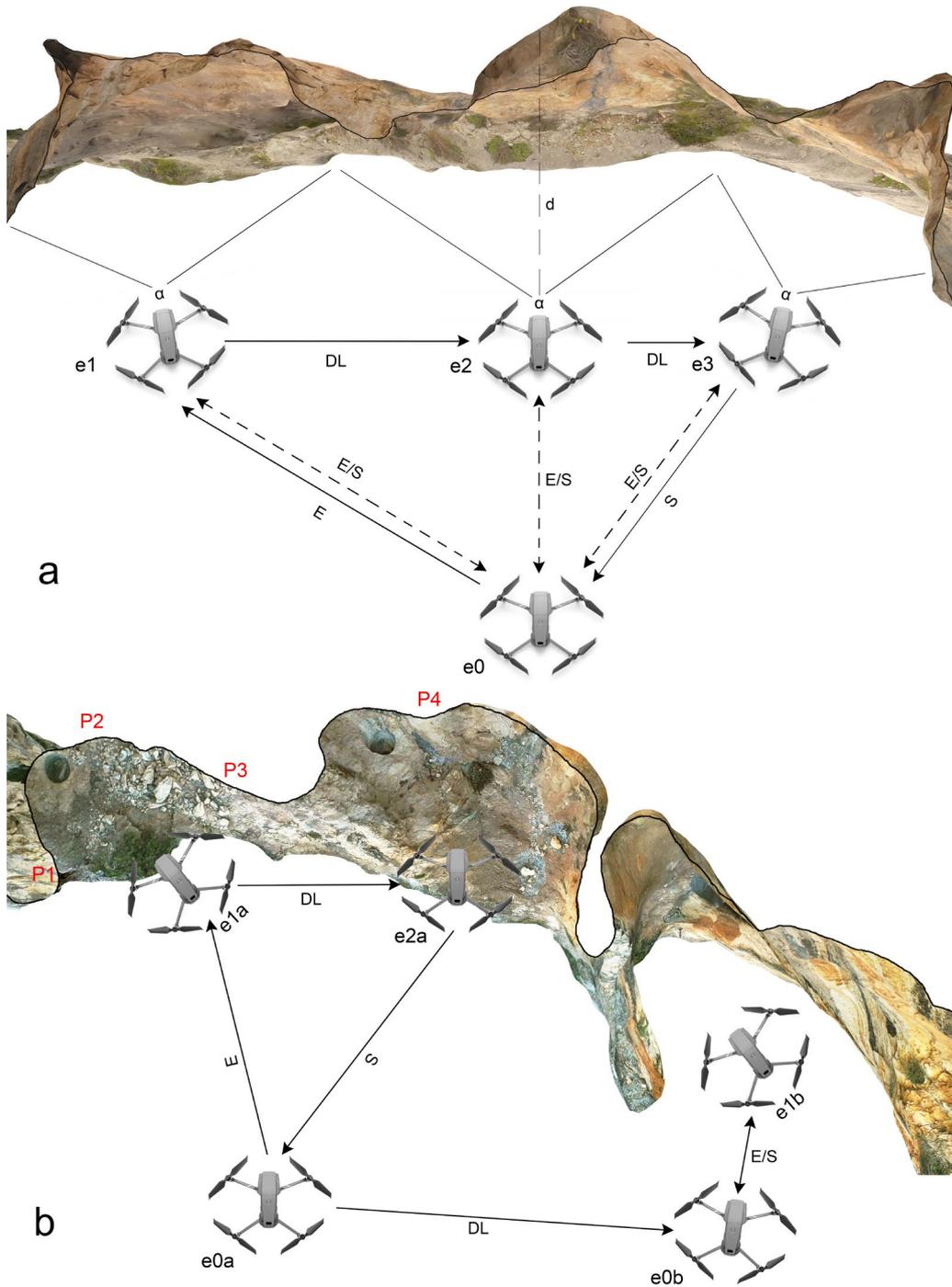


Figura 4: Ejemplos de documentación en dos abrigos: a.- Abrigo de grandes dimensiones (8 m) mediante un estacionamiento y tres aproximaciones (La Rabosera, Barxeta); b.- Abrigo con lienzos irregulares (El Salt VIII, Penàguila), mediante dos estacionamientos, e0a con dos aproximaciones y e0b con una aproximación. Leyenda: estacionamiento (e), entrada (E), salida (S), desplazamiento lateral (DL), distancia mínima (d), área fotografiada ( $\alpha$ )

debido a que los sensores de proximidad comienzan a funcionar e indican en los aparatos de telemetría la distancia en metros a los objetos más próximos. Una vez colocado el dron en la zona más segura de la pared, y tras el examen de la formación, se lleva a cabo la aproximación final al lienzo y la toma de fotos hasta llegar a 2,5 metros, distancia a la cual se realizará un nuevo estacionamiento para ejecutar las fotos de mayor detalle

(Fig. 4: a; e1). Es práctico seguir un orden determinado, por ejemplo, de izquierda a derecha, tal y como se refleja en la figura 4: a, donde se ejemplifica una aproximación y toma de fotos con tres estacionamientos (e1-e3). Es preferible que los movimientos desde e1 a e3 se realicen volviendo al punto e0 marcha atrás e ir al siguiente estacionamiento de frente, ya que es la forma más segura de que los sensores adviertan obstáculos,

evitando en lo posible el traslado lateral (alabeo). No obstante, si las condiciones son buenas y no existen obstáculos –vegetación, lienzo sin quiebras y ausencia de viento– se puede realizar el desplazamiento de e1 a e3 mediante el movimiento lateral, tal y como se señala en los ejemplos de la figura 4: a. En cambio, en cavidades con lienzos muy irregulares es preferible realizar varios estacionamientos para, desde estos, ejecutar la aproximación final (Fig. 4: b; e0a y e0b).

Cuando el dron esté a una distancia corta del lienzo se debe tener especial precaución con el alabeo y los cambios de altura, los cuales siempre deben ejecutarse con el modo trípode activado, mediante ligeros toques de los sticks y con el dron estabilizado, nunca en movimiento para evitar la inercia, ya que esta puede ser peligrosa en caso de que exista viento.

En abrigos de escasas dimensiones, en torno a 3 m de longitud o inferior, es posible hacer una toma de fotografías en un solo estacionamiento, con ayuda del movimiento del cardán y cambios de altura para abarcar y enfocar todo el lienzo. La inclinación del cardán, en caso de usar gafas, puede realizarse en todas las direcciones con el movimiento de la cabeza.

El proceso de salida del dron se ejecuta, generalmente, volando hacia atrás, ya que en modo trípode funcionan los sensores traseros y estos tienen un rango de detección de obstáculos aceptable. No obstante, en caso de haber seguido una ruta de vuelo mediante ángulos para sortear obstáculos, la salida se realiza frontalmente, ejecutando la misma ruta empleada para entrar al abrigo y limitando en lo posible, como ya se ha descrito, los movimientos bruscos laterales o de alabeo y los cambios de altura.

#### 4.4. CONFIGURACIÓN DE LA CÁMARA Y CONDICIONES PARA LA TOMA DE IMÁGENES

La obtención de una buena documentación fotográfica depende de las condiciones lumínicas y de insolación a la que esté sometida el área a inspeccionar. Las circunstancias idóneas en las que se han conseguido mejores resultados es cuando paredes o abrigos permanecen en sombra, sin incidencia directa del sol. En esta situación, o cuando las condiciones lumínicas son intensas, es aconsejable incorporar un filtro, obteniendo así un rango de color mucho más amplio. Por regla general se aconseja buscar unas condiciones de luz suficientes que permitan captar imágenes a ISO 100 y aperturas de diafragma entre 2,5 a 4, ya que es en estos valores donde se obtiene mayor rango de colores y nitidez óptica. Asimismo, se debe ajustar el balance de blancos a las condiciones lumínicas existentes.

También se recomienda activar el histograma para controlar rápidamente la exposición, así como el grid o malla, facilitando el proceso de fotografiado de los lienzos y el posicionamiento correcto del dron con respecto al abrigo.

En cada uno de los estacionamientos se toman series de fotos abarcando todo el lienzo de la pared, procurando que queden centradas y enfocadas aquellas zonas más propicias, tales como los lienzos anaranjados y sin líquenes u otras alteraciones. Para ello, se realizan pequeños movimientos controlados en altura, especialmente mediante el movimiento del cardán o estabilizador de la cámara, para así poder abarcar zonas *a priori* fuera de foco. De esta forma se consiguen fotos de detalle de todo el lienzo, mientras se reducen los movimientos de alabeo del dron. El enfoque se realiza manualmente señalando con el dedo en la pantalla del controlador la zona que se desea salga nítida o, en caso de empleo de gafas, mediante la pantalla táctil lateral, como ya se ha explicado. Inevitablemente, la distorsión de las imágenes obtenidas es elevada, especialmente con la cámara Hasselblad, aunque esto no afecta al objetivo perseguido que es la detección de nuevos conjuntos de arte rupestre.

En las zonas de lienzo más propicias y, en todo caso, cuando se observan pigmentos o manchas dudosas, se recomienda tomar un mínimo de 5 fotografías con el dron estacionado y sin movimientos del cardán. Esto se realiza mediante la selección del modo de disparo ráfaga o simplemente con el botón de disparo del mando o la pantalla táctil de las gafas. Las 5 imágenes idénticas servirán para realizar, en la fase de tratamiento, la corrección de ruido mediante el proceso denominado apilamiento, que se detalla más adelante.

Las fotografías se toman en formato jpg y raw y los parámetros de abertura del diafragma y velocidad de obturación se ajustan en modo manual para poder ir modificando los valores según se procede con la maniobra de aproximación al abrigo, ya que por lo general las condiciones de luminosidad cambian rápidamente y de forma continua.

El paso final consiste en la realización de una grabación repitiendo los mismos estacionamientos y abarcando la totalidad de la cavidad. Esta se ejecuta de forma pausada, con ayuda de los movimientos del estabilizador de la cámara y haciendo paradas en las zonas del abrigo con lienzos mejor conservados o donde se observen o sospeche la presencia de manifestaciones rupestres. La ventaja de la grabación frente a la serie fotográfica es que permite obtener un documento gráfico de toda la cavidad, abarcando zonas que en la toma de fotografías pudieran haber quedado desenfocadas o fuera de foco.

La mejor configuración de la cámara para la grabación de vídeo es a máximo rendimiento, es decir, a 4k Ultra HD (3840 x 2160 píxeles), seleccionando el perfil Dlog-M en caso de montar la cámara Hasselblad. Es en este perfil donde la cámara ofrece el mayor rango dinámico de color y máxima nitidez, captando en total 10 bits de información, lo que equivale a una gama de diez mil millones de colores. El códec recomendable es el H.265, ya que permite comprimir más los vídeos a mayor calidad.

#### 4.5. EL PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES Y DE LOS DATOS

##### 4.5.1. Procesamiento de las imágenes

En la metodología desarrollada para la detección de nuevos conjuntos con representaciones prehistóricas, la toma de fotografías y su procesamiento posterior resultan de vital importancia. El estado de conservación de estas determinará el mejor tratamiento de las imágenes para optimizar su visualización, empleando para ello diferentes programas y técnicas. La toma de fotografías, como se ha explicado en el epígrafe anterior, se realiza en formatos jpg y raw. Las imágenes comprimidas jpg permiten un rápido visionado y procesarlas directamente con programas como DStretch, un plugin del software Image-J, basado en Java, que ofrece buenos resultados para trabajar con pinturas rupestres. La descorrelación de imágenes mediante DStretch es una técnica que facilita la visión de pinturas rupestres a partir de la mejora del contraste en diversos espacios de color (p. ej. Harman, 2008). Este software ha alcanzado una gran difusión y repercusión entre los investigadores del arte rupestre, existiendo una extensa bibliografía y recursos electrónicos en línea sobre su aplicación (Quesada y Harman, 2019).

Las imágenes raw constituyen el negativo digital de la foto, por lo que contienen metadatos, entre ellos la información de color que permite un correcto tratamiento y una mejor observación de los cambios de tono

del lienzo. En este formato, es posible ajustar diferentes parámetros sin afectar excesivamente a la calidad final de la imagen con softwares como Adobe Photoshop o el programa gratuito de edición de imágenes GIMP. Del mismo modo, estos programas permiten la aplicación de varias técnicas con las que obtener imágenes más nítidas. Una de ellas es el proceso de apilamiento<sup>9</sup>, mediante el cual se consigue reducir el ruido de las imágenes. Su aplicación es muy conveniente en caso de tener dudas sobre algunas manchas o cambios de tonalidad del lienzo que necesiten un análisis con mayor detalle. Como se ha explicado arriba, en la toma de fotos deberán realizarse 5 capturas iguales que, al tener un patrón de ruido diferente, el software puede promediar y obtener así una foto final más nítida. El procedimiento se realiza con Photoshop siguiendo estos pasos (Fig. 5):

- 1.- Seleccionar las 5 capas en Photoshop > Recortar la zona con pigmentos
- 2.- Editar > Alineación automática
- 3.- Seleccionar las 5 capas > Clic derecho > Convertir en objeto inteligente
- 4.- Capa > Objetos inteligentes > Modo de pila > Mediana
- 5.- Acoplar imagen

Una técnica similar es el enfoque por apilamiento, empleado para imágenes con poca profundidad de campo o con diferentes profundidades, problema



Figura 5: Antropomorfo levantino fotografiado con dron a 2,5 m de distancia en el Abric VIII de El Salt (Penàguila), a.- imagen simple; b.- apilamiento de 5 imágenes para reducción del ruido. Longitud aproximada en torno a los 10 cm

9. Este procedimiento ofrece resultados positivos con la cámara Hasselblad.

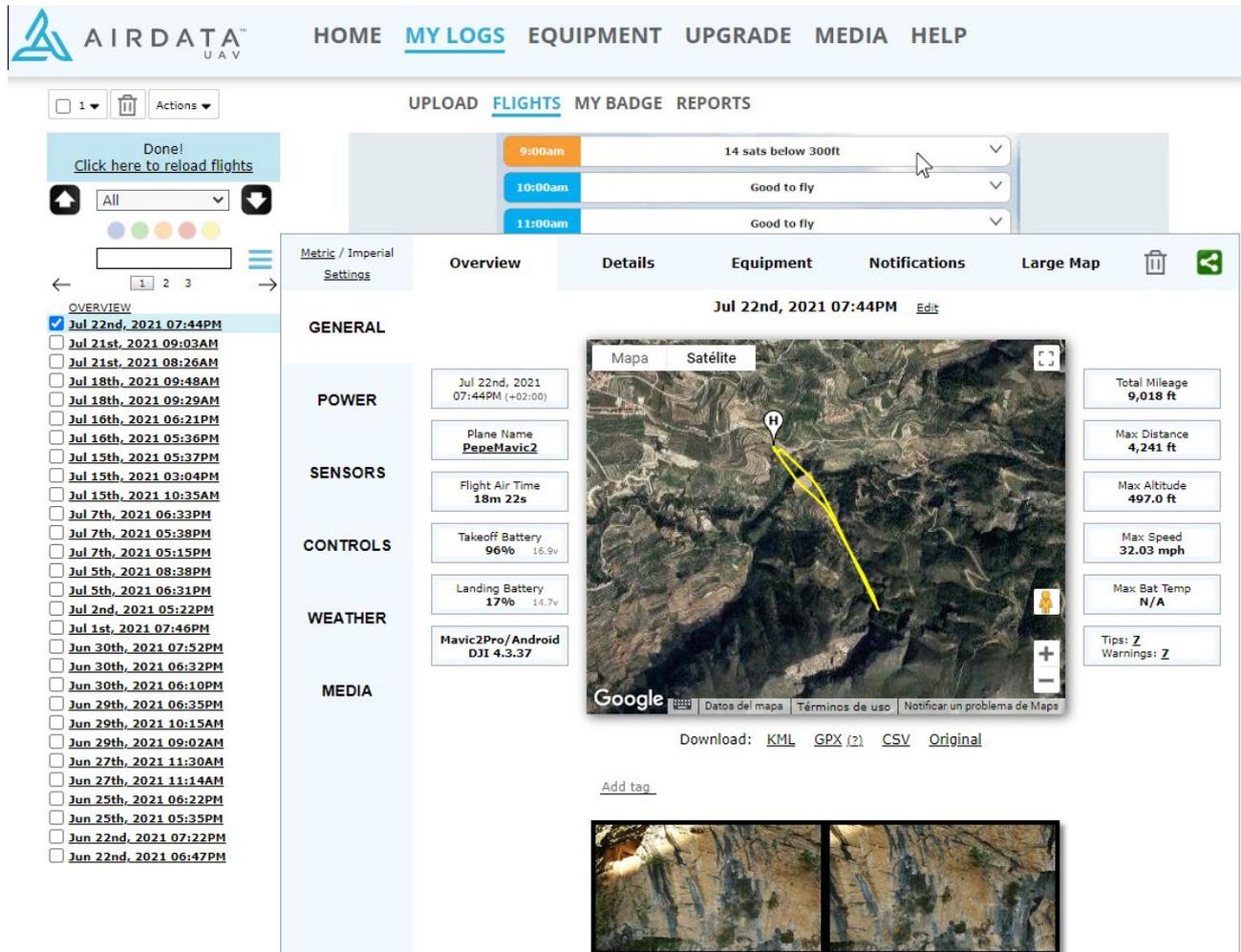


Figura 6: Análisis de la actividad del dron, trayectorias de vuelo y datos de telemetría y estado de las baterías, mediante la aplicación en línea de Airdata UAV



Figura 7: Puntos gps (trak) tomados por el dron en el vuelo de inspección del abrigo VIII del Salt de Penàguila y tratados mediante Qgis 3.16. Hannover. Punto de despegue (P)

habitual en las fotografías de arte rupestre debido a la irregularidad de los soportes. Mediante la toma de fotografías con diferentes áreas de enfoque es posible obtener una zona totalmente enfocada, en aquellos casos en los que existan imágenes con zonas poco nítidas.

Otro problema en la identificación inicial de las manifestaciones artísticas es el cálculo de sus dimensiones. Esto se puede solventar mediante la obtención de la escala de la fotografía, calculando la distancia focal y la distancia desde el dron a la pared del abrigo. La distancia focal de la cámara Hasselblad es de 28 mm y la distancia a la que se toma la foto puede obtenerse directamente en los datos de telemetría del mando del dron o en el visor de las gafas. En el caso de la cámara Zoom se han usado las fotos realizadas a 48 mm ya que estas son las que menor distorsión presentan, por lo que es preferible su empleo frente a la Hasselblad en caso de querer analizar en detalle las dimensiones o formas de las figuras.

No obstante, hay que tener en cuenta la deformación de las lentes y el hecho de que los datos de la distancia del dron al lienzo que ofrece la telemetría son aproximativos y no es posible saber exactamente cuál es la parte del lienzo que el sensor lee como más próxima, por lo que el cálculo obtenido es simplemente orientativo. Por tanto, para poder extraer datos válidos con respecto a las dimensiones y proporciones de los motivos, y disponer de imágenes que permitan llevar a cabo una documentación digital exhaustiva, se deberían aplicar técnicas fotogramétricas, ya habituales en la documentación del arte rupestre (Domingo *et al.*, 2013; Ruiz *et al.*, 2016).

Por otra parte, las imágenes de vídeo en formato Dlog-M a 4k ultra HD permiten extraer fotogramas a suficiente calidad que puede ser interesante analizar en detalle. La captura de los fotogramas se realiza con un editor de vídeo, por ejemplo, con el editor libre VSDC, ofreciendo una resolución de 3839 x 2159 píxeles en jpg, suficiente para poder ser procesadas posteriormente y extraer datos válidos. La elección y captura del fotograma es el paso más determinante, ya que se deberá seleccionar aquel en el que la imagen quede bien enfocada.

#### 4.5.2. Procesamiento de los datos de telemetría

El dron guarda información referente al recorrido realizado, fotos o vídeos tomados, así como datos de telemetría, estado de las baterías o tiempo de vuelo. Una forma rápida de analizar esta información es empleando la plataforma en línea Airdata UAV<sup>10</sup>, la cual permite sincronizar los datos guardados con esta aplicación, descargar los puntos GPS y la trayectoria de vuelo en formato gpx para su posterior volcado en un GIS (Fig.

6). La transferencia de datos se realiza con la instalación en el dispositivo móvil/tablet de la aplicación HD Sync, con la que se sincroniza la carpeta en la que se almacenan los datos del dron en el dispositivo móvil o tablet (DJI/dji.go.v4/FlightRecord, en nuestro caso) con la base de datos de Airdata.

Para el desarrollo de este proyecto piloto se ha empleado el programa QGIS versión Hannover 3.16.8, en el que se han cargado las trayectorias gpx de todos los vuelos. Esto permite su visualización rápida y el control de las zonas prospectadas sobre la base cartográfica seleccionada, así como sobre fotografía aérea o LiDAR (Fig. 7). También se han ubicado los yacimientos de ARP conocidos hasta la fecha, con el fin de identificar las áreas con vacíos de información o, por el contrario, las concentraciones. Estas capas de información resultan muy útiles a la hora de planificar los sectores de prospección.

## 5. RESULTADOS DEL PROYECTO PILOTO

La prospección intensiva con dron en el área seleccionada del Barranquet del Castellet-Barranc del Salt y Port de Penàguila ha permitido inspeccionar un total de 18 abrigos que presentaban una elevada dificultad de acceso o visualización, por lo que gran parte de ellos habían permanecido, hasta la fecha, sin explorar. Se han obtenido resultados positivos en dos de ellos, mediante la observación directa de pigmentos a través del tratamiento de las imágenes obtenidas con dron, en uno de los casos, y tras la documentación en vuelo del abrigo, valoración del acceso más seguro y posterior visita en el segundo de los casos, ya que debido a la orografía y vegetación fue imposible realizar las maniobras de aproximación e inspección con dron (Fig. 8).

El primero de los referidos abrigos es el VIII del Barranc del Salt de Penàguila. Se trata de una cavidad de escasa profundidad que, en la actualidad, se abre en la parte alta de una cantera datada a finales del s. XIX o principios del s. XX, con motivo de la construcción de la carretera y puente de acceso a la localidad. Debido a las transformaciones de la topografía original de la zona, este abrigo y otro colindante son inaccesibles sin el empleo de material de escalada (Fig. 9). El tratamiento de las imágenes tomadas con dron evidenció la presencia de varios paneles con pinturas prehistóricas (Fig. 10: a, b). Tras la confirmación de la existencia de pinturas, se realizó el acceso al mismo con la ayuda de dos escaladores profesionales, permitiendo comprobar la relevancia de este abrigo, donde se conservan varios paneles con motivos de tipo levantino y esquemático, así como superposiciones entre ambos, que serán objeto de un estudio exhaustivo.

El otro abrigo localizado se ubica en la zona del Port de Penàguila, en la vertiente NE del Castell, denominándose abrigo III del Port de Penàguila. Se encuentra prácticamente oculto y apenas es observable desde el valle o laderas próximas, debido a su situación en

10. Ver <https://airdata.com/>

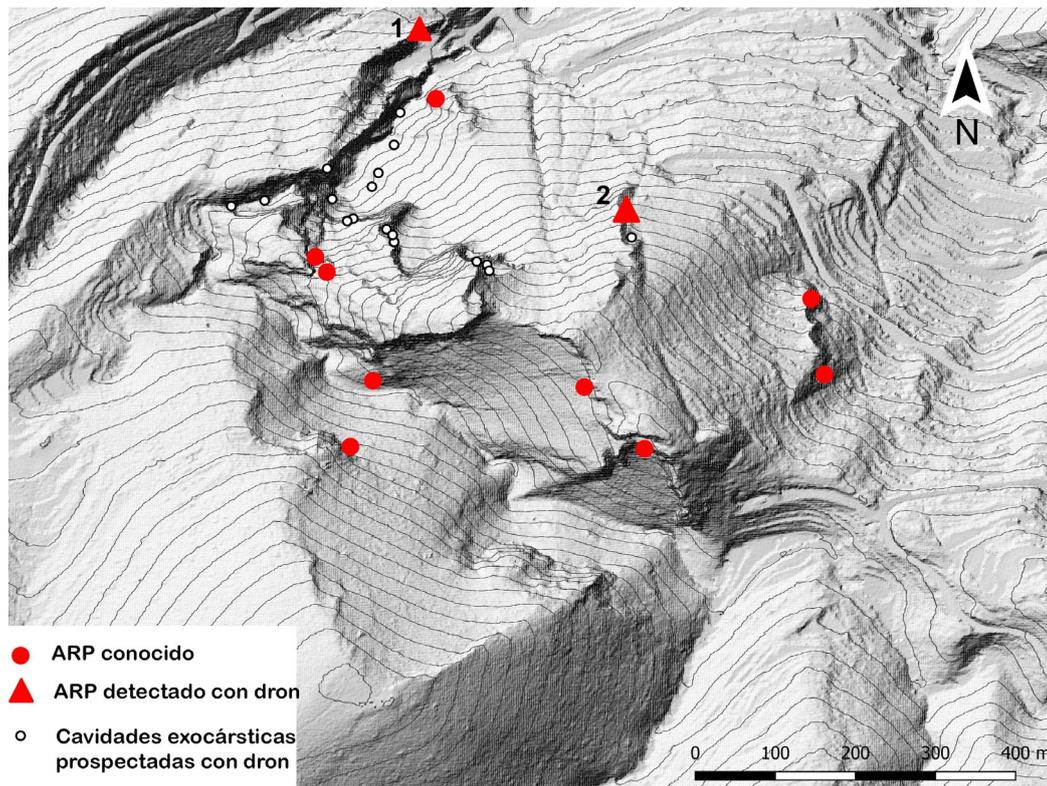


Figura 8: Abrigos con ARP de los conjuntos de Barranquet del Castellet o Barranc del Salt y Port de Penàguila. Se enumeran los documentados con dron en el marco del presente proyecto de investigación: 1.- Abrigo VIII del Barranc del Salt; 2.- Abrigo III del Port de Penàguila



Figura 9: Abrigo VIII del Salt de Penàguila. Primera inspección directa realizada con la ayuda de escaladores, orientada a la confirmación de los datos obtenidos mediante dron

una barranquera muy abrupta, cubierta por abundante vegetación. Además, se trata de un abrigo de escasas dimensiones, especialmente con respecto a la altura de la visera. Tras su observación en uno de los vuelos se procedió a su visita directa. En esta se pudo comprobar la presencia de pintura de tipo esquemático, aunque en mal estado de conservación debido a presencia de coladas y hongos (Fig. 11).

## 6. DISCUSIÓN: LA APLICABILIDAD DE LOS DRONES A LA DETECCIÓN DEL ARTE RUPES-TRE PREHISTÓRICO Y SU TRASCENDENCIA PARA LA INVESTIGACIÓN Y CONSERVACIÓN

El empleo de drones en la prospección sistemática y detección de ARP en el territorio ARAMPI y otras áreas de la península ibérica no se ha generalizado hasta la fecha, siendo inexistentes, en el momento de redacción de este trabajo, las publicaciones referentes a aspectos metodológicos. Con motivo del proyecto *Arte rupes-tre y paisajes culturales en la Montaña de Alicante*, se ha comenzado a aplicar de forma sistemática en el norte de la provincia de Alicante y sur de la de Valencia –especialmente en las comarcas de l’Alcoià y el Comtat (Alicante)–, habiendo seleccionado dos barrancos con ARP del municipio de Penàguila como área piloto para probar la eficacia de esta metodología y su puesta a punto.

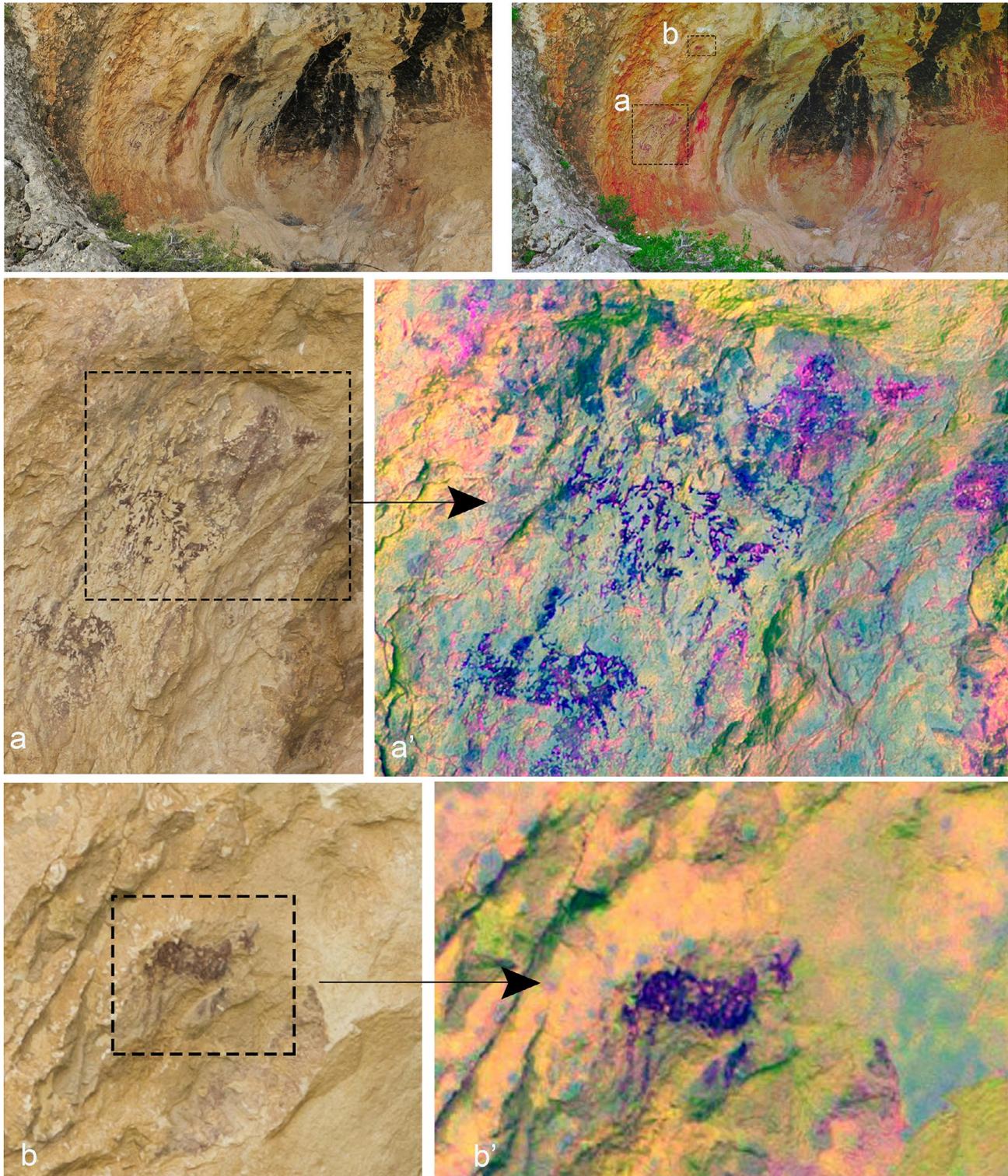


Figura 10: Abrigo VIII del Salt de Penàguila. Primera estación de ARP documentada con el empleo de dron en la provincia de Alicante. Fotografías a 2,5 m de distancia del lienzo: a, b.- Imágenes de dron en formato raw tratadas posteriormente con Photoshop para la ampliación de detalles del soporte, donde se aprecian motivos pintados; a', b'.- Apilamiento y aplicación de filtro ybk15 con el plugin DStretch de Imagen J, apreciándose figuras zoomorfas y antropomorfas de estilo levantino. La longitud aproximada del antropomorfo es de 10 cm, la del cáprido inferior de 6 cm

La elección de esta zona de trabajo se ha llevado a cabo en base a criterios metodológicos, pero también históricos. Por una parte, se ha seleccionado por la aplicabilidad de la prospección con dron, ya que presenta

unas características idóneas para el desarrollo de este proyecto piloto, al tratarse de un área muy abrupta –con abundantes abrigos no investigados que resultan inaccesibles sin el empleo de técnicas de escalada–, con una

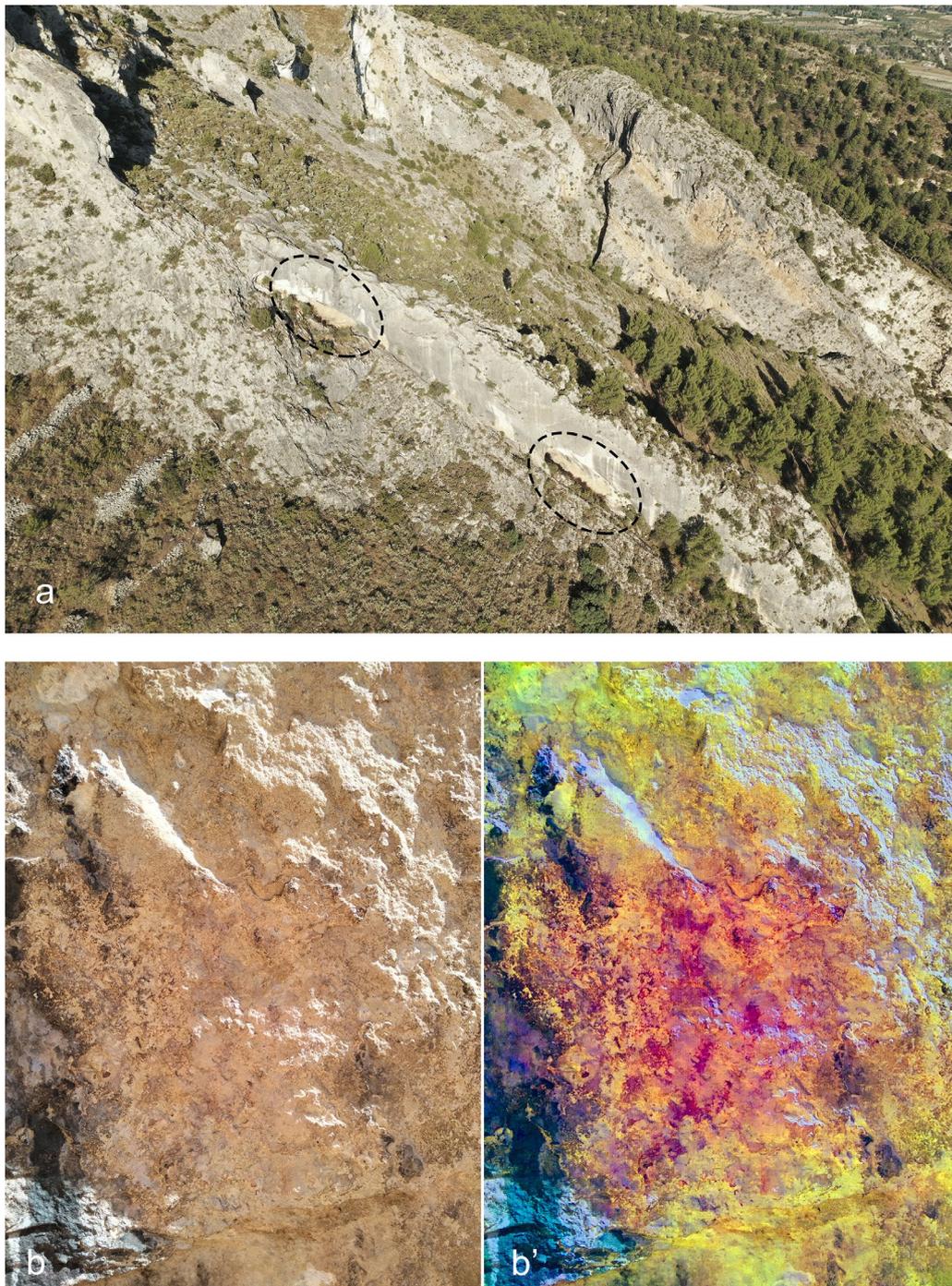


Figura 11: Observación con dron de dos abrigo en el Port de Penàguila (a). Detalle de una de las pinturas esquemáticas del abrigo III del Port de Penàguila y aplicación de filtro lds25 con el plugin DStretch de Imagen J (b-b'). 15 cm de longitud máxima

exigua vegetación arbórea, escasas líneas eléctricas y la inexistencia de restricciones administrativas para efectuar los vuelos. Por otra parte, en su selección se han valorado criterios arqueológicos, debido a la riqueza de la zona en ARP –11 abrigo– y la presencia, por el momento, de dos de los estilos postpaleolíticos, el arte esquemático y el levantino.

En efecto, este territorio, y en general el área montañosa del norte de la provincia de Alicante, concentra uno de los conjuntos de ARP postpaleolíticos

más importantes de la península ibérica, a lo que debe sumarse un gran número de yacimientos de hábitat al aire libre y en cueva que evidencian un foco temprano de neolitización (García Atiénzar, 2009). De ese modo, resulta clave para investigar el proceso de neolitización y su posterior desarrollo, en especial a lo que al mundo simbólico se refiere, siendo el aspecto de las superposiciones entre los diversos artes fundamental para establecer la secuencia temporal, aunque aún sigue siendo un tema pendiente en la investigación.

No obstante, a pesar de la abundante documentación arqueológica, algunas problemáticas distan mucho de estar resueltas. El valor cuantitativo que tiene la abundante concentración de enclaves con ARP contrasta con la cantidad de yacimientos que presentan superposiciones o composiciones que permitan establecer una secuencia gráfica temporal. De hecho, en la provincia de Alicante, poco más de una decena de abrigos presentan superposiciones entre figuras, siendo el más paradigmático el de La Sarga en Alcoi (Hernández y Segura, 2002). Es por ello que sigue siendo imprescindible llevar a cabo proyectos donde se desarrollen no solo nuevas metodologías para el análisis exhaustivo de los conjuntos rupestres (con caracterización de pigmentos, superposiciones, técnicas, dataciones relativas, entre otras), sino también nuevas metodologías orientadas a prospectar áreas con vacíos o zonas inaccesibles que permitan localizar conjuntos relevantes para las problemáticas abiertas en la investigación o para abrir nuevos debates. En este sentido, la documentación de abrigos compartidos con diferentes estilos y superposiciones, como el abrigo VIII del Barranc del Salt de Penàguila, se convierte en algo trascendental para la investigación futura.

Por otro lado, las características del sistema prebético alicantino, en el que abundan los relieves quebrados y los profundos barrancos encajados en calizas sometidas a importantes procesos tectónicos y erosivos, lo convierten en un territorio muy apropiado en el que implementar el uso de tecnología dron en los trabajos de prospección. Unas tareas que no solo son importantes en el marco de la investigación, sino también en el contexto de la conservación preventiva del ARP y sus paisajes. La elevada antropización de algunas zonas de este territorio, especialmente debido a la construcción de infraestructuras viarias, canteras, un urbanismo especialmente feroz, así como la intensificación de las actividades lúdico-deportivas, hacen cada vez más necesario implantar medios de prospección que permitan de forma rápida, segura y eficiente llevar a cabo este imprescindible trabajo de campo. Por otra parte, su empleo podría aplicarse al control del estado de conservación de los conjuntos inaccesibles, por ejemplo, en caso de incendios. En este sentido, ya se han hecho algunas pruebas, pudiendo ejemplificarse en el incendio ocurrido recientemente en el municipio valenciano de Barxeta y que afectó al conjunto de ARP de La Rabosera, en proceso de estudio por parte de los firmantes. A la semana siguiente de producirse, un vuelo de observación con dron permitió determinar que los lienzos no habían sufrido de forma directa los efectos del fuego.

## 7. CONCLUSIONES

El uso de drones para la detección de ARP en entornos geográficos accidentados y la aplicación de una metodología sistematizada para su uso se ha mostrado como

una herramienta eficaz en todos los pasos del proceso. Desde la planificación de la prospección, a la identificación y ubicación con GPS de abrigos, cavidades y farallones, la observación de las mejores vías de acceso a los mismos –tanto a pie como mediante métodos de escalada– y, especialmente, en la realización de una primera inspección rápida y efectiva mediante fotografía y vídeo de los abrigos inaccesibles.

La metodología desarrollada se ha basado en la experiencia de vuelo y en la toma de fotografía y vídeo a diferentes distancias, configuraciones y condiciones lumínicas, así como el posterior tratamiento informático de las mismas. Todo ello sistematizado mediante determinados protocolos que resultan esenciales para la adecuada configuración del equipo y la consecución de los objetivos perseguidos, minimizando en lo posible el riesgo que siempre conlleva volar en entornos complejos.

El equipo empleado ha ofrecido resultados positivos, adaptándose a las diversas condiciones ambientales y geográficas. Esto se debe, en gran medida, a su transportabilidad y a la elevada seguridad que ofrecen sus sistemas de detección de obstáculos a la hora de realizar las maniobras de aproximación a las cavidades, más aún cuando se trata de zonas agrestes y geográficamente muy accidentadas.

El empleo de cámaras con diferentes rendimientos (Hasselblad o Zoom) supone una mejora de las prestaciones del equipo, siendo ambas complementarias. La elección de una u otra está en relación con las características del abrigo o abrigos a prospectar, optando por la Zoom en aquellos casos en los que la aproximación al sitio está obstaculizada o limitada por la vegetación o por un entorno muy accidentado.

Cabe insistir en que la metodología aplicada en este caso de estudio es extrapolable al uso de drones de media y alta gama de otras marcas comerciales aunque, como ya se ha señalado, se deben tener en cuenta las especificaciones técnicas concretas de cada modelo para su adecuación.

La eficacia de este proceso de prospección con dron se ha probado gracias al desarrollo de un proyecto piloto en la zona del Barranquet del Castellet-Barranc del Salt y Port de Penàguila (Alicante), donde de un total de 18 abrigos inaccesibles sin material de escalada o que quedaban ocultos desde tierra se han documentado dos nuevas estaciones de ARP. Uno de los abrigos detectados, el abrigo VIII del Barranc del Salt de Penàguila, es, además, especialmente relevante, al presentar varios paneles de estilo esquemático y levantino con superposiciones.

Por otro lado, una vez probada su efectividad, existen determinados aspectos que deben ser desarrollados o mejorados. Por ejemplo, es necesario mejorar la calidad de la cámara ya que en muchos abrigos las pinturas se encuentran deterioradas o bajo velos calcínicos, por lo que no son observables sin aplicar un buen tratamiento de postproducción. Aun así, en ocasiones, son más las dudas que las certezas, poniendo de relieve la

importancia de emplear un equipo fotográfico de mayores prestaciones, por ejemplo, una cámara de micro 4/3 con un potente zoom óptico –caso del Mavic 3, actualmente en proceso de prueba–, cámaras de infrarrojos o multiespectrales, que ofrezcan mejor rendimiento cuando las condiciones no son idóneas. Este es un tema importante, ya que en todo caso se debe buscar el equilibrio adecuado entre la transportabilidad y manejabilidad del equipo en entornos de vuelo de montaña, la seguridad y las prestaciones fotográficas.

Una de las conclusiones generales que se extrae a partir de los resultados obtenidos es que, si bien el método resulta muy apropiado para prospectar entornos geográficos accidentados y realizar la primera inspección de los abrigos inaccesibles, la obtención de resultados negativos no debe traducirse directamente en una ausencia de manifestaciones rupestres. Es decir, en conjuntos deteriorados o cubiertos por velos calcínicos puede no ser posible su visualización por medio de fotografías tomadas a cierta distancia. Pese a estas limitaciones, el empleo de drones en la prospección de arte rupestre debe entenderse como una herramienta más de apoyo cuya adecuada utilización ofrece datos rápidos y aumenta la seguridad a la hora de planificar y ejecutar la prospección física en ámbitos geográficos accidentados. El bajo coste económico que conlleva la adquisición del equipo empleado, la facilidad en su manejo, unido a los resultados inmediatos que se obtienen y especialmente un menor riesgo a la hora de decidir acceder o no y por qué vías a las cavidades, son argumentos que justifican, a nuestro parecer, la incorporación de drones en los trabajos de prospección. El continuo desarrollo de drones con más prestaciones, mayor seguridad, menor tamaño y más económicos permitirá ir ajustando la metodología y conseguir resultados cada vez más precisos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los escaladores Àlex Mora i Monllor y Natxo Gómez Ors, su disponibilidad y ayuda para acceder al abrigo VIII del Salt de Penàguila. También agradecemos a José Luis Yáñez Pérez, instructor de pilotos de dron reconocido por AESA, las observaciones realizadas a este trabajo.

## REFERENCIAS

- Adamopoulos, E. y Rinaudo, F. (2020). UAS-Based Archaeological Remote Sensing: Review, Meta-Analysis and State-of-the-Art. *Drones*, 4(3), 46, 1-28. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones4030046>
- Agudo, P. U., Pajas, J. A., Pérez-Cabello, F., Redón, J.V. y Lebrón, B. E. (2018). The Potential of Drones and Sensors to Enhance Detection of Archaeological Cropmarks: A Comparative Study Between Multi-Spectral and Thermal Imagery. *Drones*, 2(3), 29, 1-23. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones2030029>
- Barba, S., Barbarella, M., Di Benedetto, A., Fiani, M., Gujski, L. y Limongiello, M. (2019). Accuracy Assessment of 3D Photogrammetric Models from an Unmanned Aerial Vehicle. *Drones*, 3(4), 79, 1-19. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3040079>
- Barciela, V., Martorell, X. y Molina, F. J. (2014). Arte Rupestre Prehistórico en la Serra de Segària (Alicante, España). En M.<sup>a</sup> A. Medina-Alcaide, A. J. Romero, R. M.<sup>a</sup> Ruiz-Márquez y J. L. Sanchidrián (Coords.). *Sobre rocas y huesos: las sociedades prehistóricas y sus manifestaciones plásticas* (pp. 287-299). Nerja: Patronato de la Cueva de Nerja - Universidad de Córdoba, UCOPress.
- Barciela, V., Martorell, X. y Molina, F. J. (2019): Caracterización y secuencia del arte rupestre esquemático entre las cuencas de los ríos Júcar y Segura. El ejemplo de las tierras valencianas. En R. Viñas (Coord.). *I Jornades Internacionals d'Art Rupestre de l'Arc Mediterrani de la Península Ibèrica. XXè Aniversari de la Declaració de Patrimoni Mundial* (pp. 297-319). Montblanc: Museu Comarcal de la Conca de Barberà.
- Barciela, V. y Molina, F. J. (2011). Arte Rupestre postpaleolítico en la Vall d'Albaida y La Safor (Valencia). En E. López Montalvo y M. Sebastián López (Coords.). *El legado artístico sociedades prehistóricas. Nuevos paradigmas de análisis y documentación* (pp. 99-102). Zaragoza: Departamento de Ciencias de la Antigüedad, Universidad de Zaragoza.
- Barciela, V. y Molina, F. J. (2013). Arte rupestre en la Sierra de Aitana. Líneas de investigación y nuevos descubrimientos. En J. Martínez y M. S. Hernández (Coords.). *Actas del II Congreso sobre Arte Rupestre Esquemático en la Península Ibérica (Comarca de los Vélez, 5-8 de mayo 2010)* (pp. 175-183). Almería: Ayuntamiento de Vélez-Blanco.
- Barciela, V. y Molina, F. J. (2014). Prospección, documentación y contextualización del arte rupestre en las comarcas alicantinas de l'Alcoià, El Comtat, la Marina Alta y la Marina Baixa. *MARQ. Arqueología y Museos, extra 0-1*, 176-182.
- Berquist, S., Spence-Morrow, G., Gonzalez-Macqueen, F., Rizzuto, B., Yépez Álvarez, W., Bautista, S. y Jennings, J. (2018). A new aerial photogrammetric survey method for recording inaccessible rock art. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 8, 46-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.03.001>
- Brenes-Zeledón C. (2019). Captura y formación de imágenes hiperespectrales mediante UAV's. *Revista Tecnología En Marcha*, 32(8), 24-34. DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i8.4561>
- Cowley, D. C., Moriarty, C., Geddes, G., Brown, G. L., Wade, T. y Nichol, C. J. (2018). UAVs in Context: Archaeological Airborne Recording in a National Body of Survey and Record. *Drones*, 2(1), 2, 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones2010002>
- Domingo, I., Villaverde, V., López-Montalvo, E., Lerma, J. L. y Cabrelles, M. (2013). Latest developments in rock art recording: towards an integral documentation of Levantine rock art sites combining 2 D and 3 D recording techniques.

*Journal of Archaeological Science*, 40(4), 1879-1889. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.11.024>

Farjas, M., Ruiz, J. Á., Gutiérrez, A., Ocaña, A., Domínguez, J. A. y Gómez, J. A. (2015). Aplicación de la fotografía aérea por dron al estudio y documentación del arte rupestre: los grabados de la Laguna Tinaja (Lagunas de Ruidera, Albacete) desde un nuevo punto de vista. En *ARKEOS. Proceedings of the XIX International Rock Art Conference IFRAO 2015 (31 de agosto al 4 de septiembre de 2015)* (pp. 2075-2104). ARKEOS: perspectivas em diálogo, 37. Cáceres.

Fiz, J. I., Martín, P. M., Cuesta, R., Subías, E., Codina, D. y Cartes, A. (2022). Examples and Results of Aerial Photogrammetry in Archeology with UAV: Geometric Documentation, High Resolution Multispectral Analysis, Models and 3D Printing. *Drones*, 6(3), 59, 2-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones6030059>

García Atiénzar, G. (2009). *Territorio neolítico: las primeras comunidades campesinas en la fachada oriental de la Península Ibérica (ca. 5600-2800 cal BC)*. BAR International Series, 2021. Oxford: Archaeopress. DOI: <https://doi.org/10.30861/9781407305967>

García Atiénzar, G. (2011). El Contexto Arqueológico del Arte Rupestre Levantino en el Campo de Hellín (Albacete). *Zephyrus*, LXVIII, 63-86.

García Atiénzar, G. (2011-2012). Las sociedades tribales durante el neolítico inicial en el mediterráneo occidental: procesos de expansión y consolidación durante el VI milenio (cal. b.c.). *Boletín de Antropología Americana*, 47, 101-119.

García Atiénzar, G. (2018). Territorio y Arte Rupestre Neolítico: el paisaje en las primeras comunidades campesinas. En J. A. Soler, R. Pérez y V. Barciela (Eds.). *Rupestre. Los primeros santuarios. Arte Rupestre en Alicante* (pp. 83-95). Alicante: Museo Arqueológico de Alicante.

García, O., Molina, L. y García, M. R. (2004). El arte levantino y el proceso de neolitización en el arco mediterráneo peninsular: el contexto arqueológico y su significado. *Archivo de Prehistoria Levantina*, XXV, 61-90.

Gasparini, M., Moreno-Escribano, J.C. y Monterroso-Checa, A. (2020). Photogrammetric Acquisitions in Diverse Archaeological Contexts Using Drones: Background of the Ager Mellariensis Project (North of Córdoba-Spain). *Drones*, 4(3), 47, 2-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones4030047>

Harman, J. (2008). *Using Decorrelation Stretch to Enhance Rock Art Images*. [Consulta: 23 de mayo de 2022]. Recuperado de: <https://www.dstretch.com/AlgorithmDescription.html>

Hernández Pérez, M. S. (2016). Arte macrosquemático vs. Arte esquemático. Reflexiones en torno a una relación intuida. En H. Bonet (Coord.). *Del Neolític a l'Edat de Bronze en el Mediterrani occidental: estudis en homenatge a Bernat Martí Oliver* (pp. 481-490). Serie de Trabajos Varios del SIP, 119. Valencia: Diputación de Valencia. Recuperado de: [http://www.mupreva.es/dedalo/media/pdf/publicaciones/standar/mupreva194\\_mupreva153\\_922.pdf](http://www.mupreva.es/dedalo/media/pdf/publicaciones/standar/mupreva194_mupreva153_922.pdf)

Hernández, M. S. y Barciela, V. (2018). Alicante, territorio levantino. En J. A. Soler, R. Pérez y V. Barciela (Coords.).

*Rupestre: Los primeros santuarios. Arte prehistórico en Alicante* (pp. 22-33). Alicante: Museo Arqueológico de Alicante.

Hernández, M. S., Ferrer, P. y Catalá, E. (1988). *Arte Rupestre en Alicante*. Alicante: Fundación Banco Exterior y Banco de Alicante.

Hernández, M. S., García, G. y Barciela, V. (2014). Actualización y realización del inventario de los yacimientos arqueológicos con arte rupestre de la Comunidad Valenciana. Provincia de Alicante. *Arqueología en Alicante en la primera década del siglo XX* (pp. 170-175). MARQ. Arqueología y Museo, Extra-1. Alicante: Museo Arqueológico de Alicante.

Hernández, M. S. y Segura, J. M.<sup>a</sup> (2002). *La Sarga. Arte rupestre y territorio*. Alcoi: Museu Arqueològic Municipal Camil Visedo Moltó d'Alcoi.

Hernández, M. S., Segura, J. M.<sup>a</sup> y Barciela, V. (2013-2014). Pinturas rupestres en el Barranc de la Carbonera (Beniatjar, Valencia). Nuevas lecturas de un yacimiento excepcional. *Recerques del Museu d'Alcoi*, 22-23, 7-20.

Jalandoni, A., Zhang, Y. y Zaidi, N. A. (2022). On the Use of Machine Learning Methods in Rock Art Research with Application to Automatic Painted Rock Art Identification. *Journal of Archaeological Science* 144(3): 1-29 <https://doi.org/10.1016/j.jas.2022.105629>

Juan-Cabanilles, J. y García, O. (2013). Rupture et continuité dans la néolithisation du versant méditerranéen de la péninsule Ibérique: mise à l'épreuve du modèle de dualité culturelle. En *Transitions, ruptures et continuité en préhistoire: XXVII Congrès Préhistorique de France (Bordeaux-Les Eyzies, 31 mai - 5 juin 2010)* (pp. 405-417). Paris: Société Préhistorique Française.

Linck, R. y Kaltak, A. (2019). Drone radar: A new survey approach for Archaeological Prospection?. En J. Bonsall (Ed.). *New global perspectives on archaeological prospection. 13th international conference on archaeological prospection* (pp. 268-271). Ireland: Archaeopress Publishing.

López-Montalvo, E. (2018). Hunting scenes in Spanish Levantine rock art: An unequivocal chrono-cultural marker of Epipalaeolithic and Mesolithic Iberian societies? *Quaternary International*, 472(B), 205-220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.016>

Martínez, T. y Martorell, X. (2012). La senda heredada: contribución al estudio de la red de caminos óptimos entre yacimientos de hábitat y de arte rupestre neolíticos en el Macizo del Caroig (Valencia). *Zephyrus*, LXX, 69-84.

Martí Oliver, B. (2008). Cuevas, poblados y santuarios neolíticos: una perspectiva mediterránea. En M. S. Hernández, J. A. Soler y J. A. López (Eds.). *IV Congreso del Neolítico Peninsular* (pp. 17-27). Alicante: Museo Arqueológico de Alicante.

Martí Oliver, B. (2012). Redes y expansión del Neolítico en la Península Ibérica. En M. Borrell, F. Borrell, J. Bosch, X. Clop y M. Molist (Eds.). *Congrés Internacional Xarxes al Neolític (Gavà 2-4 febrer 2011) - Neolithic Networks* (pp. 549-553). Rubricatum, 5. Gavà: Museu de Gavà. Recuperado de: <https://raco.cat/index.php/Rubricatum/article/view/270071>

- Megarrey, W., Graham, C., Gilhooly, B., O'Neill, B., Sands, R., Nyland, A. y Cooney, G. (2018). Debitage and Drones: Classifying and Characterising Neolithic Stone Tool Production in the Shetland Islands Using High Resolution Unmanned Aerial Vehicle Imagery. *Drones*, 2(2), 12, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones2020012>
- Monterroso-Checa, A., Moreno-Escribano, J. C., Gasparini, M., Conejo-Moreno, J. A. y Domínguez-Jiménez, J. L. (2021). Revealing Archaeological Sites under Mediterranean Forest Canopy Using LiDAR: El Viandar Castle (*husum*) in El Hoyo (Belmez-Córdoba, Spain). *Drones*, 5(3), 72, 2-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones5030072>
- Orsini, C., Benozzi, E., Williams, V., Rossi, P. y Mancini, F. (2022). UAV Photogrammetry and GIS Interpretations of Extended Archaeological Contexts: The Case of Tacuil in the Calchaquí Area (Argentina). *Drones*, 6(2), 31, 2-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones6020031>
- Pavelka, K., Šedina, J. y Matoušková, E. (2018). High resolution drone surveying of the pista palpa, Peru. *Geosciences*, 8(12), 479, 2-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences8120479>
- Pérez, M. A. (2016). El Camí del Peix: aportaciones para la localización y puesta en valor de una ruta histórica estratégica. *Recerques del Museu d'Alcoi*, 25, 127-58. DOI: <https://raco.cat/index.php/RecerquesMuseuAlcoi/article/view/310462>
- Poirier, N., Hautefeuille F. y Calastrenc, C. (2017). L'utilisation des micro-drones pour la prospection archéologique à basse altitude. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 213, 81-93. DOI: <http://dx.doi.org/10.52638/rfpt.2017.198>
- Quesada, E. y Harman, J. (2019). A step further in rock art digital enhancements. DStretch on Gigapixel imaging. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00098>
- Ronchi, D., Limongiello, M. y Barba, S. (2020). Correlation among Earthwork and Cropmark Anomalies within Archaeological Landscape Investigation by Using LiDAR and Multispectral Technologies from UAV. *Drones*, 4(4), 72, 2-25. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones4040072>
- Ruiz, J. F., Royo-Lasarte, J., Royo-Guillén, J. y Rivero, O. (2022). Filling the Void: Rock-art Continuity Over the Pleistocene-Holocene Boundary in Eastern Iberia. *Cambridge Archaeological Journal*, 32(4), 661-687. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0959774322000105>
- Ruiz J. F., Sebastián M., Quesada E., Pereira J. M., Fernández S., Pitarch À.,... y Dólera A. (2016). *4D arte rupestre. Monitorización del Abrigo del Buen Aire I (Jumilla), Cueva del Mediodía (Yecla), Cañaica del Calar II (Moratalla), Abrigo Grande de Minateda (Hellín) y Solana de las Covachas (Nerpio)*. Monografías Centro de Estudios de Prehistoria y Arte Rupestre, 3. Murcia: Dirección General de Bienes Culturales - Comunidad Autónoma de la Región de Murcia
- Smith, N. G., Passone, L., al-Said, S., al-Farhan, M. y Levy, T. E. (2014). Drones in archaeology: Integrated data capture, processing, and dissemination in the alula valley, Saudi Arabia. *Near Eastern Archaeology*, 77(3), 176-181. DOI: <https://doi.org/10.5615/neareastarch.77.3.0176>
- Stek, T. D. (2016). Drones over Mediterranean landscapes. The potential of small UAV's (drones) for site detection and heritage management in Archaeological survey projects: A case study from Le Pianelle in the Tappino Valley, Molise (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 22, 1066-1071. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2016.06.006>
- Villaverde, V., Martínez, R., Guillem, P. M., López-Montalvo, E. y Domingo, I. (2012). What do we mean by Levantine rock art? En J. J. Garcia, H. Collado y G. Nash (Eds.). *The Levantine Question: the development of Spanish Levantine Rock-art* (pp. 81-115). Budapest: Archaeolingua.
- Villaverde, V., Martínez, T., Guillem, P. M., Martínez, R. y Martínez, J. A. (2016). Arte rupestre y hábitat en la prehistoria del Riu de les Coves. Aproximación a la cronología del Arte Levantino a través de la red de caminos óptimos. En H. Bonet (Coord.). *Del Neolític a l'Edat de Bronze en el Mediterrani occidental: estudis en homenatge a Bernat Martí Oliver* (pp. 501-520). Serie de Trabajos Varios del SIP, 119. Valencia: Diputación de Valencia. Recuperado de: [http://www.mupreva.es/dedalo/media/pdf/publicaciones/standar/mupreva194\\_mupreva153\\_922.pdf](http://www.mupreva.es/dedalo/media/pdf/publicaciones/standar/mupreva194_mupreva153_922.pdf)
- Viñas, R., Rubio, A., Ruiz, J. F., Vaquero, M., Vallverdú, J., Rowe M. W. y Santos da Rosa, N. (2016). Investigación cronoestratigráfica en el conjunto rupestre de la Sierra de la Pietat: abrigos de Ermites I y IV (Ulldecona, Tarragona, Catalunya). *Cuadernos de Arte Prehistórico*, 2, 70-85.
- Wang, S., Wang, Y., Hu, Q., Li, J. y Ai, M. (2019). Unmanned aerial vehicle and structure photogrammetry for three-dimensional documentation and digital rubbing of the Zuo paintings. *Archaeological Prospection*, 26(3), 265-279. DOI: <https://doi.org/10.1002/arp.1739>